

Задача 1.

Посвящается 225-летию со дня рождения Бориса Семёновича Якоби.



Б. С. Якоби

Борис Семёнович Якоби – выдающийся российский инженер-изобретатель и исследователь, один из основоположников прикладной электрохимии. Б.С. Якоби разработал несколько вариантов электродвигателей, участвовал в постройке первого в мире электрического речного судна и телеги на электрической тяге, предложил около десяти конструкций телеграфных аппаратов и построил кабельные телеграфные линии в Петербурге. Однако во всем мире академик Б.С. Якоби известен именно как создатель гальванопластики – метода точного копирования рельефных поверхностей путём электролитического осаждения металла. Именно этим методом были изготовлены барельефы и статуи для украшения Исаакиевского собора, Эрмитажа, Зимнего дворца, позолоченные листы кровли для куполов, медные копии с форм для печатания денег, а также географических карт, почтовых марок, художественных гравюр.

В юбилейном 2026 году в лаборатории решили изготовить медную копию памятной медали. Для этого в гальваническую ванну поместили 2,25 л 0,225 М раствора сульфата меди (II). Катодом служит восковая форма медали цилиндрической формы радиусом 2,25 см и толщиной 0,50 см с графитовым покрытием, причем медь осаждается на всей внешней поверхности, анод – медная пластина. Процесс электролиза длился 225 минут при силе тока 2,25 А. Выход меди по току составил 90,0%.

1. Какие процессы протекают на электродах в ходе проведения гальванопластики?
2. Рассчитайте массу меди, осажденной на катоде за время электролиза. Как при этом изменится масса анода?
3. Определите среднюю толщину полученного медного покрытия в миллиметрах. Сколько атомных слоев меди составляет это покрытие, если радиус атома меди примерно $1,28 \cdot 10^{-8}$ см?
4. Как изменится толщина покрытия, если при той же массе меди поверхность медали будет более рельефной?
5. Зачем восковую форму покрывают графитом?

Во время Якоби ещё не были введены в обиход современные единицы и методы измерения параметров электрического тока. Поскольку Якоби нужно было точно знать, сколько тока проходит через цепь, чтобы рассчитать толщину медного слоя, он пользовался градуированной трубкой: по мере заполнения трубки газом уровень воды в ней понижался. По измеренному объёму выделившегося газа можно было определить количество прошедшего через цепь электричества, а значит, и массу осаждённого металла. Ниже приведена таблица зависимости объёма выделившегося газа на катоде от времени:

Время, мин	0	75	150	225
Объём, мл (н.у.)	0	64	128	193

6. Определите силу тока, при которой проводили эксперимент.

Задача 2.

В пяти герметичных ампулах находятся пять различных твёрдых бинарных соединений A_1 - A_5 , образованных одними и теми же элементами – активным металлом M и неметаллом X .

Для качественного анализа из каждой ампулы брали навеску массой 1,0 г и по отдельности добавляли к 500 мл воды. Во всех случаях, кроме опыта с веществом A_2 , выделялся газ. Газ, образующийся при взаимодействии A_1 с водой, был значительно легче воздуха и имел плотность всего 0,09 г/л при н.у. Газ, выделяющийся при взаимодействии остальных соединений с водой, поддерживал горение.

Во всех опытах после завершения реакции образовывался раствор с сильнощелочной средой. Для определения концентрации щёлочи в растворе, полученном после реакции вещества A_3 с водой, проводили титрование: на нейтрализацию порции объемом 10 мл такого раствора расходовалось 9,6 мл соляной кислоты концентрацией 0,0205 М.

Соединение	Объем выделившегося газа, мл (н.у.)
A_1	85
A_2	не выделялся
A_3	55
A_4	143
A_5	210

1. Определите металл M , установите формулы всех пяти исходных соединений. Как называются вещества A_1 - A_5 ? При расчетах пользуйтесь округлением значений молярных масс с точностью до десятых.
2. Напишите уравнения реакций соединений A_1 - A_5 с водой.

Задача 3.

*... Не использовать свои знания во вред Человеку, Природе, Отечеству
и воспитавшей меня Alma mater,
не заниматься приготовлением и продажей тайных средств
и не давать смертельного или запрещенного средства просящему.
Клянусь!...*

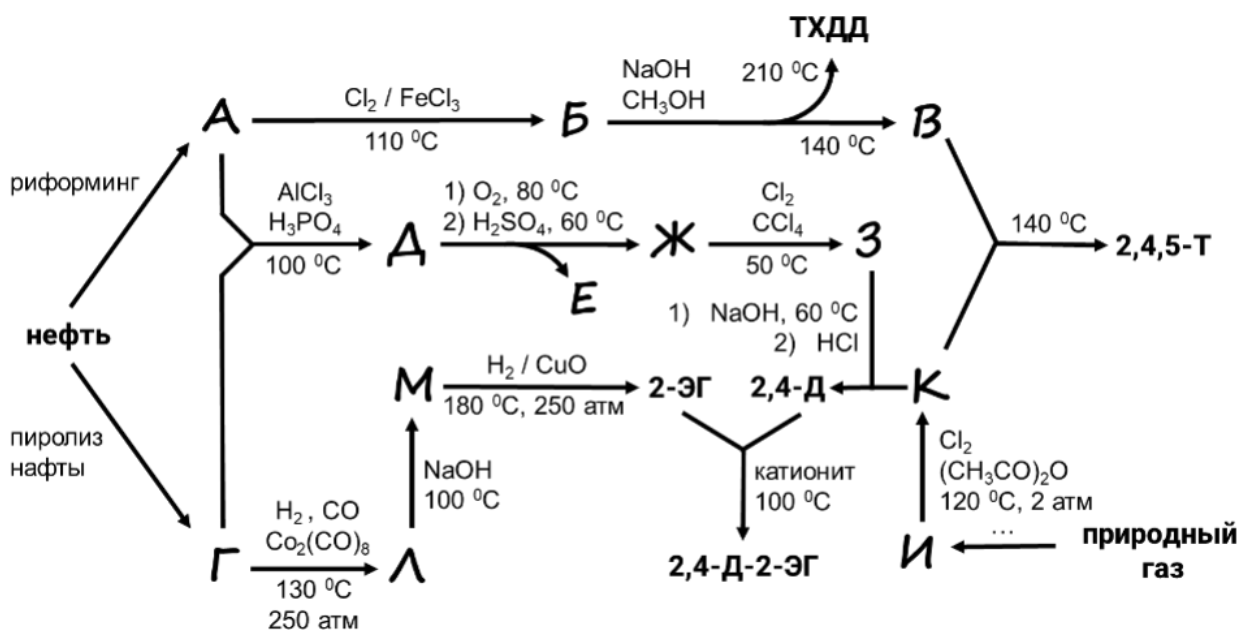
Клятва химика



В 2026 году исполняется 65 лет с момента первого использования армией США отравляющих веществ в ходе Вьетнамской войны. Американские солдаты распылили более 70 млн литров дефолиантов, вызывающих опадение листьев растений, и гербицидов, приводящих к их гибели, чтобы уничтожить тропические леса и плантации, – и таким образом лишить противника укрытия и продовольствия. Эта кампания продлилась более 10 лет и стала самым масштабным в истории применением химического оружия, привела к почти полному уничтожению мангровых лесов, исчезновению десятков видов птиц, земноводных и насекомых, долговременному отравлению почвы и воды.

Наиболее известным дефолиантом стал «Агент Оранж» – смесь производных кислот **2,4,5-Т** и **2,4-Д**, схема производства которых из ископаемых углеводородов представлена далее. Впоследствии оказалось, что перегрев на стадии гидролиза **Б** приводит к его самоконденсации с образованием трициклического **ТХДД** – одного из самых токсичных веществ, полученных человеком. Несмотря на небольшие концентрации **ТХДД** в составе дефолианта, его применение привело к поражению более 3 миллионов человек; среди последствий – онкологические и наследственные заболевания, врожденные пороки физического и интеллектуального развития у детей. Из-за этого **2,4,5-Т** сейчас запрещен. При этом контроль технологических параметров и современные методы очистки позволили снизить риск загрязнения **2,4-Д**. Её менее летучее и более стабильное производное **2,4-Д-2-ЭГ** – один из наиболее применяемых в сельском хозяйстве гербицидов.

Примечательно, что хотя **2,4,5-Т** и **2,4-Д** содержат одинаковые функциональные группы, их получают по-разному. Прекурсор для **2,4,5-Т** – вещество **Б**, содержащее 65,74 % масс. хлора, – продукт высокотемпературного хлорирования канцерогенной жидкости **А**, производимой в ходе процесса риформинга нефтяных фракций. Алкилирование **А** углеводородом **Г** (продуктом пиролиза нефти, плотность которого в 2,6 раза меньше плотности паров **А**) с последующим окислением и кислотным гидролизом позволяет получить распространенный растворитель **Е** и вещество **Ж**. **Ж** более активен в реакциях электрофильного замещения, поэтому его хлорируют при низкой температуре и без катализатора. Синтез **2,4-Д** проводят конденсацией соответствующего продукта хлорирования **З** и вещества **К**. В свою очередь **К** получают из распространенной кислоты **И** с резким запахом, которую широко применяют в качестве консерванта и производят в несколько стадий из природного газа.



- Расшифруйте схему, приведя структурные формулы веществ А-М, 2,4-Д, 2,4,5-Т, 2,4-Д-2-ЭГ и ТХДД, если известно, что:
 - на потенциметрическое титрование навески 0,1000 г З будет затрачено 12,3 мл раствора щелочи с концентрацией 0,0490 моль/л, а на титрование такой же массы 2,4,5-Т – 8,0 мл такого раствора;
 - по данным элементного анализа М содержит 12,7 % масс. кислорода.
- Предложите метод получения кислоты И из основного компонента природного газа. Приведите уравнения реакций.

Задача 4.

В некоторых горнопромышленных регионах России острой экологической проблемой является загрязнение почв и грунтовых вод соединениями элемента **X**. В природе этот элемент часто присутствует в виде примеси в сульфидных минералах, при медленном окислении кислородом он переходит в растворимые формы. В зависимости от условий могут образовываться соединения **A** и **B**, в которых **X** находится в разных степенях окисления. Соединение **A**, соответствующее более низкой степени окисления, значительно токсичнее соединения **B** и хуже удаляется из воды адсорбционными методами. Поэтому на практике одним из самых распространённых способов очистки сточных вод является окисление **A**, например, перманганатом калия в сернокислой среде (*реакция 1*) с последующим извлечением образовавшегося продукта на поверхности аморфных сорбентов.

При окислении простого вещества, образованного элементом **X**, кислородом (*реакция 2*) образуется оксидный порошок **B**, который в прошлом использовали как яд. Этот порошок обладает амфотерными свойствами. Он реагирует как с соляной кислотой (*реакция 3*), так и со щелочами, например, с гидроксидом натрия (*реакция 4*). При этом образуются соответственно продукты **Г** и **Д**. Массовая доля натрия в **Д** составляет 17,69 %. Растворение **B** в концентрированной азотной кислоте приводит к образованию вещества **Б** (*реакция 5*). При взаимодействии **B** с недостатком гидроксида натрия (*реакция 6*) образуется вещество **Е**. После выпаривания воды и высушивания **Е** теряет 4,84% массы, образуется вещество **Ж**, содержащее 42,37 % масс. **X** (*реакция 7*).

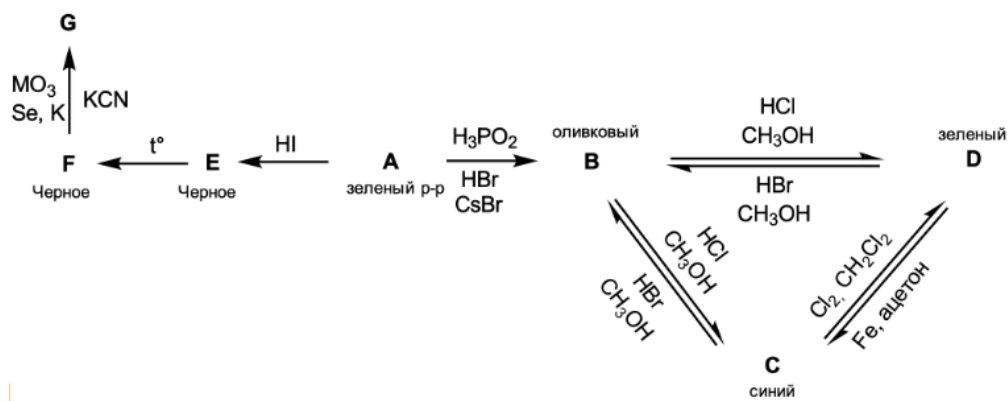
1. Назовите элемент **X** и соединения **A** и **B**. Какие сульфидные минералы **X** вы знаете? Напишите уравнения окисления любого такого минерала до форм **A** и **B**.
2. Объясните, почему соединения этого элемента, особенно производные **A**, столь токсичны для человека (подсказка: подумайте, сродством к какому элементу обладает **X**).
3. Назовите вещества **B–Ж**, напишите уравнения *реакций 1–7*. Изобразите структуру **Ж**.

Для качественного обнаружения соединений элемента **X** в аналитической практике применяют классическую реакцию восстановления в кислой среде. При действии на оксид **B** раствора кислоты и металла-восстановителя, например, цинка, образуется летучее водородное соединение элемента **X**. При последующем нагревании оно разлагается, и на стенках прибора появляется тёмный зеркальный налёт простого вещества.

4. Назовите тривиальное название такого метода определения элемента **X** и напишите уравнения химических реакций.

Задача 5.

Химия комплексных соединений – важный раздел современной науки. Благодаря разнообразию структур, регулируемым свойствам и высокой селективности взаимодействий, они широко востребованы – от медицины до создания новых материалов. Ниже представлена цепочка превращений соединений переходного элемента **Z** одного из последних периодов.



Известно, что:

- Все вещества, кроме **G** имеют в своем составе не более трех элементов;
- При растворении 5,00 г трёхэлементного вещества **A** в соляной кислоте и последующем пропускании сероводорода образуется 5,16 г бинарного соединения **X** ($M=596$ г/моль). Из оставшегося раствора упариванием может быть получено 1,29 г вещества **Y**. Протекает реакция: $2\text{A} + 7\text{H}_2\text{S} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{X} + 2\text{Y} + 8\text{H}_2\text{O}$.
- **G** представляет собой анион сложного комплексного соединения;
- Оксид MO_3 можно получить окислением сульфида MS_n , причем теоретически из 10,0 г сульфида можно получить 9,0 г оксида.

Далее приведены массовые доли элементов в соединениях **B–G**:

Соединение	$\omega(\text{галогена}), \%$	$\omega(\text{Z}), \%$	$\omega(\text{M}), \%$	$\omega(\text{Cs}), \%$	$\omega(\text{Se}), \%$	$\omega(\text{CN}), \%$
B	50,04	29,15	-	20,81	-	-
C	30,75	40,41	-	28,84	-	-
D	33,33	38,90	-	27,77	-	-
E	?	26,84	-	-	-	-
F	67,15	?	-	-	-	-
G	-	48,30	4,15	-	27,31	20,24

1. Установите состав веществ **A–G**, **X** и **Y**, а также определите элементы **M** и **Z**. Все ответы подтвердите расчётами, пользуясь округлением значений молярных масс с точностью до десятых.
2. Определите степени окисления комплексобразующего элемента в соединениях **B**, **C**, **D** и **G**.

Задания, решения, результаты будут появляться на сайте <https://turlom.olimpiada.ru>